

PENGENDALIAN PENCEMARAN LINGKUNGAN DENGAN PENERAPAN TEKNOLOGI PROSES TERBAIK “BEST AVAILABLE TECHNIQUES” UNTUK PRODUKSI AMONIAK

Oleh : Djoko Wiwoho ^{*)}

Abstract

Best Available Techniques (BAT) is developed especially in the European Community, responding environmental issue by designing the process that the polluted chemicals released during the plant operation are still under the environmental tolerances. Beside environmentally friendly, the technology is also efficient and consumes less energy.

Kata kunci: proses, amoniak, pencemaran, lingkungan.

1. PENDAHULUAN

Program pembangunan yang dilancarkan sektor industri telah menimbulkan dilema kehidupan. Di satu pihak pembangunan telah meningkatkan taraf kehidupan manusia tetapi di lain pihak telah menimbulkan pencemaran lingkungan. Kekawatiran akan kerusakan lingkungan yang tidak terkendali telah menimbulkan kesadaran manusia untuk bersama-sama menjaga kelestarian kualitas lingkungan hidup. Hal ini telah dituangkan dalam konferensi bumi di Brasil pada tahun 1992.

Pembangunan pabrik amoniak telah ikut mendorong produksi pupuk urea guna meningkatkan produksi pangan. Namun demikian pembangunannya telah pula menimbulkan permasalahan baru yaitu pencemaran lingkungan. Operasi pabrik menggunakan berbagai bahan kimia, baik sebagai bahan baku, bahan kimia yang terbentuk selama operasinya maupun produk amoniak. Bahan-bahan kimia tersebut apabila tidak dapat dikelola dengan sempurna akan mengakibatkan pencemaran lingkungan kerja dan lingkungan kehidupan sekitar. Disamping itu kondisi operasi beberapa peralatan yang menerapkan temperatur dan tekanan yang tinggi dapat membahayakan lingkungan. Emisi yang ditimbulkan, tetesan minyak, bahan-bahan buangan selama operasi maupun pada waktu perbaikan juga dapat merupakan sumber pencemaran.

Buangan industri amoniak dapat mengganggu kesehatan kerja dan lingkungan sekitar. Oksida nitrogen, NO_x dan oksida sulfur, SO_x akan menimbulkan hujan asam sehingga dapat merusak tumbuh-tumbuhan dan kehidupan air. Klorida, Cl, dapat merusak sistem

pernapasan dan membran mucous mata. Padatan tersuspensi akan mengganggu pernapasan, jarak pandang, mengakibatkan iritasi mata, dan pada beberapa padatan dapat mengakibatkan pengendapan pada saluran pernapasan dan tumbuh-tumbuhan.

Dengan memahami akibat yang dapat ditimbulkan oleh pencemaran dari pabrik amoniak, maka upaya-upaya pencegahannya perlu dilakukan. Hingga saat ini telah dikembangkan teknologi proses produksi amoniak yang dikenal sebagai “Best Available Techniques (BAT)”. Dengan penerapan BAT ini konsep pembangunan pabrik yang berwawasan lingkungan dapat dilakukan sejak dari awal proyek dalam pengerjaan disain dasar hingga pengoperasian pabrik sehari-hari.

Dalam tulisan ini akan dikemukakan BAT produksi amoniak sesuai dengan yang diterapkan di negara-negara Eropa, standar kualitas lingkungan beberapa negara serta tindakan pencegahan pencemaran.

2. BEST AVAILABLE TECHNIQUE PRODUKSI AMONIAK

Terdapat beberapa proses yang dapat diidentifikasi sebagai teknologi proses produksi amoniak yang terbaik dari yang ada saat ini atau yang secara spesifik disebut sebagai “Best Available Techniques (BAT)”, baik yang menggunakan bahan baku gas alam, minyak bumi maupun batubara. Pada bab ini akan disampaikan salah satu BAT untuk memproduksi amoniak yang menggunakan bahan baku gas alam dengan tipe conventional steam reforming.

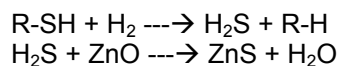
Untuk menjelaskan proses ini, akan dikemukakan dengan tahapan yang meliputi desulfurisasi bahan baku, primary reforming,

^{*)} Staf pada Direktorat Teknologi Proses dan Rekayasa - BPPT

secondary reforming, shift conversion, removal, metanasi dan sintesa amoniak.

a. Desulfurisasi

Bahan baku gas alam yang akan diumpankan untuk pembuatan amoniak dilakukan pengolahan awal dengan menghilangkan kandungan sulfur. Tahap ini ditujukan untuk mencegah peracunan katalis oleh sulfur agar umur katalis dapat bertahan lama.



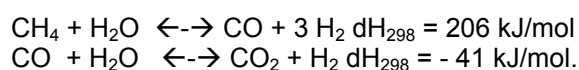
Sulfur dapat diserap hingga tinggal 0,1 ppmS dalam aliran gas alam.

b. Primary Reformer

Gas alam dari desulfurizer selanjutnya dicampur dengan steam dan dipanaskan hingga 500~600°C dalam convection section sebelum masuk ke primary reformer.

Kebutuhan steam ditentukan oleh perbandingan molar antara steam dengan karbon (S/C ratio), yaitu sebesar 3,0. Perbandingan optimumnya tergantung pada beberapa faktor, antara lain kualitas bahan bakar, purge gas recovery, kapasitas primary reformer dan neraca steam. Pada pabrik yang baru, S/C ratio optimum adalah kurang dari 3,0. Primary reformer terdiri atas tabung-tabung alloy Ni-Cr yang berisi katalis Ni. Reaksi keseluruhan sangat endotermik, dan tambahan panas diperlukan untuk menaikkan temperatur hingga 780~830°C pada gas yang keluar dari reformer.

Komposisi gas keluar primary reformer yang berdasar atas kesetimbangan kimia adalah;



Panas untuk primary reforming diperoleh dari hasil pembakaran gas alam dalam suatu burner yang berisi tube-tube dalam radiant box. Gas bakar yang meninggalkan convection section pada 100~200°C adalah sumber utama emisi dari pabrik, terutama CO₂, NO_x, dan sedikit SO₂ dan CO.

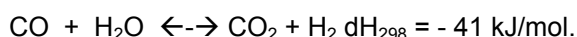
c. Secondary Reforming

Secondary reforming dilakukan untuk menambah tingkat konversi bahan baku mengingat hanya 30~40% bahan baku yang direform pada primary reformer. Gas proses dicampur dengan udara dalam burner dan kemudian dilewatkan pada katalis secondary

reformer yang mengandung nikel. Temperatur keluar reformer adalah sekitar 1000°C dan hingga 99% umpan gas alam ke primary reformer yang dikonversi menghasilkan sisa reaktan sebanyak 0,2~0,3% yang meninggalkan secondary reformer. Gas proses kemudian didinginkan hingga 350~400°C dalam waste heat steam boiler atau boiler/superheater.

d. Shift Conversion

Gas proses dari secondary reformer mengandung 12~15% CO untuk kemudian dirubah dalam shift section sesuai dengan reaksi;



Dalam high temperature shift conversion (HTS), gas dialirkan melalui katalis oksida besi /oksida kromium pada temperatur sekitar 400°C dimana kandungan CO dirubah menjadi 3%. Gas dari HTS selanjutnya didinginkan untuk menambah konversi dengan dilewatkan pada low temperature shift conversion (LTS). LTS diisi dengan katalis oksida tembaga/oksida zinc dan beroperasi pada 200~220°C. Sisa kandungan CO dalam gas yang dikonversi adalah sekitar 0,2~0,4%. Kandungan sisa CO yang rendah adalah penting untuk efisiensi proses.

e. CO₂ Removal

Gas proses dari LTS converter mengandung terutama H₂, N₂, CO₂ dan steam sisa proses. Gas didinginkan dan kebanyakan kelebihan steam dikondensasikan sebelum memasuki CO₂ removal system. Kondensat biasanya mengandung amoniak 1500~2000 ppm dan metanol 800~1200 ppm, dan dalam BAT kondensat ini harus distrip/recycle. Selain itu panas yang dilepaskan selama cooling/kondensasi digunakan untuk regenerasi CO₂ scrubbing solution, mengatur unit refrigerasi absorpsi serta pemanas awal BFW.

CO₂ diambil dengan proses absorpsi kimia atau fisika. Untuk proses kimia solvent yang digunakan terutama adalah MEA, AMDEA atau larutan potasium karbonat, sedangkan untuk proses fisika solvent yang digunakan adalah Selexol, propilen karbonat dan lain-lain. Proses MEA mempunyai konsumsi energi regenerasi yang tinggi dan karenanya tidak dinilai sebagai BAT.

Untuk pabrik amoniak yang baru, proses CO₂ removal yang dapat dinilai sebagai BAT adalah :

- AMDEA standard 2-stage process, atau yang serupa

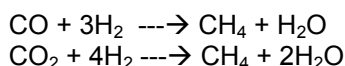
- Benfield process (HiPure, LoHeat), atau yang serupa
- Selexol atau proses absorpsi fisik yang serupa.

Konsep-konsep seperti pressure swing adsorption (PSA) seharusnya dinilai sebagai BAT dalam berbagai pabrik baru, akan tetapi dalam beberapa hal CO₂ removal tidak hanya fungsi dari PSA unit.

Range konsumsi panas dalam proses adsorpsi kimia adalah 30~60 MJ/Kmol CO₂. Proses adsorpsi fisis dapat didisain pada konsumsi panas nol, tetapi untuk perbandingan dengan proses-proses kimia kebutuhan energi mekanik juga harus diperhatikan. Sisa kandungan CO₂ biasanya 100~1000 ppm bergantung pada tipe dan disain unit removalnya, dapat dicapai hingga 50 ppm.

f. Metanasi

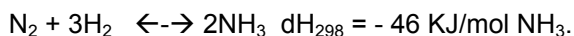
Metanasi adalah reaksi pembentukan metana dari senyawa-senyawa CO dan CO₂ yang berada dalam gas sintesa karena senyawa-senyawa tersebut bersifat racun terhadap katalis sintesa amoniak sesuai dengan reaksi;



Reaksi berlangsung pada temperatur sekitar 300°C dalam metanator yang berisi katalis nikel. Gas metan merupakan gas yang inert dalam reaksi sintesa sedangkan air harus dibersihkan sebelum memasuki konverter. Penghilangan air dilakukan dengan cara pendinginan, selanjutnya kondensasi dan terakhir dengan kondensasi/adsorpsi dalam produk amoniak di dalam loop atau dalam unit pengering gas make-up.

g. Sintesa Amoniak

Sintesa amoniak biasanya berlangsung pada tekanan 100~250 bar dan temperatur 350~550°C dengan katalis besi sesuai dengan reaksi;



Amoniak yang terbentuk selanjutnya dipisahkan dari recycle gas dengan pendinginan / kondensasi. Hasil kondensasi kurang sempurna apabila pendinginan dilakukan dengan air. Uap amoniak digunakan sebagai refrigeran dalam kebanyakan pabrik untuk mencapai konsentrasi amoniak yang cukup rendah dalam gas yang direcycle ke dalam konverter. Uap amoniak selanjutnya dicairkan setelah dikompresi dalam kompresor refrigeran.

h. Steam dan Power System

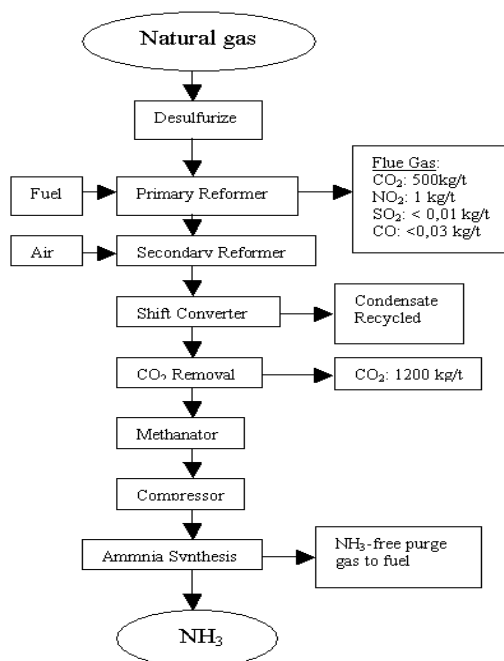
Steam reforming pabrik amoniak mempunyai surplus panas yang banyak yang dapat digunakan untuk produksi steam di dalam reforming, shift conversion dan synthesis section, serta di convection section pada primary reformer. Kebanyakan sisa panas digunakan untuk steam tekanan tinggi.

3. PENCEMARAN

Pabrik amoniak merupakan salah satu jenis industri yang berpotensi sebagai sumber pencemar lingkungan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya bahan kimia yang digunakan serta temperatur dan tekanan operasi yang tinggi. Pada bab ini akan disampaikan berbagai bahan pencemar, sumber pencemar, standar kualitas lingkungan serta kemungkinan tindakan pencegahannya. Gambar 1 menunjukkan tipikal emisi pabrik amoniak.

3.1. Buangan

Buangan pabrik dapat berupa emisi, buangan cair maupun buangan padat. Beberapa sumber emisi adalah Flue gas dari primary reformer, Vent gas dari CO₂ removal, Breathing gas dari oil buffers, Fugitive emissions (dari flanges, stuffing boxes, dll), Purge dan flash gases dari synthesis section (biasanya ditambahkan ke bahan bakar primary reformer) dan Non-continuous emissions (venting dan flaring).



Gambar 1. Tipikal Emisi Pabrik Amoniak.

Flue gas dari primary reformer

Volume flue gas yang terbentuk dari pabrik amoniak dengan kapasitas 1500 ton/hari adalah sekitar 200.000 Nm³/jam, yang mengandung sekitar 8% CO₂ atau setara 500 kg CO₂/ton NH₃.

Polutan lainnya dalam flue gas antara lain;

- NO_x sekitar 0,6~1,3 kg/t NH₃ yang dinyatakan sebagai NO₂.
- SO₂ sekitar 0,1~2 mg/Nm³ atau < 0,01 kg/t, tergantung jenis bahan bakar.
- CO < 0,03 kg/t.

Vent gas dari CO₂ removal

Bergantung pada kebutuhannya, kebanyakan produk CO₂ akan dibuang ke udara. Dalam buangan ini terdapat pula sejumlah kecil gas sintesa dan uap solvent.

Breathing gas dari cadangan oli

Emisi ini mengandung NH₃, gas sintesa dan oli pelumas.

Emisi fugitif

Jenis emisi ini berasal dari flange, kotak penyimpanan dan lain-lain.

Purge gas dan flash gas

Emisi ini mengandung amoniak serta NO_x.

Non-continuous emissions

Yang tergolong pada non-continuous emission ini antara lain adalah NO_x yang terjadi selama flaring gas sintesa. Diperkirakan jumlah emisi ini sekitar 10~20 kg/jam sebagai NO₂. Beberapa pabrik tidak mempunyai flare system sehingga tidak mempunyai jenis emisi ini.

Emisi dari heat exchange reforming

Emisi ini terutama terdiri atas CO₂ dan NO_x.

3.1.1. Emisi ke air

Jenis buangan ini pada operasi normal adalah kondensat dan air hasil scrubbing gas buang yang mengandung amoniak. Namun demikian buangan ini dapat diolah sehingga tidak membahayakan.

3.1.2. Buangan padat

Buangan padat ini biasanya adalah sisa katalis dan molecular sieves. Namun pada proses BAT buangan ini dapat diolah kembali.

3.2. Baku Mutu Lingkungan

Baku mutu lingkungan adalah suatu besaran yang dapat digunakan oleh industri sebagai ukuran tingkat pencemaran (Schuuman, 1993). Dengan terpenuhinya kadar buangan yang tidak melebihi standar maka buangan yang terjadi masih belum mengakibatkan gangguan kesehatan lingkungan kerja bagi karyawan, keselamatan kerja di pabrik, kebersihan lingkungan udara sekitar serta terlindunginya kehidupan tanaman dan makhluk hidup.

Baku mutu lingkungan, khususnya untuk lingkungan industri amoniak tiap negara berbeda. Beberapa negara telah mempunyai standar seperti Masyarakat Ekonomi Eropa, Amerika Serikat, Jepang, India, namun masih lebih banyak negara yang belum memilikinya. Dalam kelompok negara-negara yang terakhir, standar yang digunakan biasanya mengacu kepada standar dari salah satu negara maju.

Beberapa bahan pencemar yang paling sering ditemui telah diberikan standarnya, baik buangan gas, cair maupun padat. Oksida nitrogen, NO_x, menimbulkan hujan asam dan dapat mengakibatkan terbentuknya awan fotokimia pada cuaca tertentu. Hujan asam dapat berakibat pada kerusakan tumbuh-tumbuhan dan kehidupan air. Oksida-oksida sulfur, SO_x, juga mengakibatkan terjadinya hujan asam. Klorida, Cl, bersifat korosif dan merusak sistem pernafasan dan membran mucous mata. Selain itu Cl juga akan meracuni katalis. Dalam sistem pendingin, senyawa kloramin dalam air akan meracuni ikan. H₂S selain sangat bersifat racun terhadap kehidupan air juga dapat mengakibatkan kerusakan mata dan sistem pernafasan.

Padatan tersuspensi juga akan mengganggu pernafasan, jarak pandang, dan beberapa padatan tertentu seperti suspensi karbon dapat mengakibatkan pengendapan pada saluran pernafasan, bangunan dan daun-daun tanaman. Tabel 1 menunjukkan beberapa bahan pencemar penting beserta standarnya di beberapa negara. Angka-angka yang disampaikan tidak hanya untuk bahan pencemar yang berasal dari industri amoniak dan pupuk namun juga dari industri lain. Untuk NO₂, standar paling ketat adalah 350 mg/m³ yang diterapkan di Jerman sedangkan standar yang longgar 4000 mg/m³ diterapkan di Pakistan. Standar untuk SO₂ besarnya bervariasi antara 200 hingga 8000 mg/m³, suspended particulate matters antara 50 hingga 600 mg/m³, Cl antara 20 hingga 500 mg/m³, H₂S antara 15 hingga 75 mg/m³ dan awan asam antara 3 hingga 70 mg/m³.

3.3. Tindakan Pencegahan

Mengingat pencemaran sangat mengganggu kehidupan, khususnya pencemaran yang berasal dari industri amoniak dan pupuk nitrogen, maka pencegahan atas pencemaran perlu dilakukan. Langkah-langkah yang dapat ditempuh adalah dengan penerapan BAT proses.

3.3.1. Amoniak

Untuk mencegah pencemaran oleh amoniak, upaya yang dapat dilakukan antara lain:

- Memperkuat sistim refrigerasi boil-off amoniak di tangki penyimpanan sehingga dapat menjamin tekanan operasi tangki tidak melebihi tekanan disainnya.
- Menempatkan tangki amoniak di lokasi yang jauh dari daerah operasi pabrik dan daerah pemukiman penduduk sehingga apabila terjadi kebocoran penduduk masih mempunyai kesempatan untuk berlindung.

3.3.2. Buangan Sulfur

Bahan pencemar sulfur yang berupa cairan dapat diatasi dengan mengalirkannya melewati saluran menuju ke pusat pengolahan limbah pabrik.

3.3.3. Buangan Minyak Pelumas dan Lemak

Buangan minyak pelumas dan lemak dialirkan ke unit pengolah minyak sebelum dialirkan lebih lanjut ke pusat pengolahan limbah pabrik. Di dalam unit pengolah minyak, lapisan minyak dipisahkan dari air. Proses pemisahan ini dapat dilakukan dengan menggunakan corrugated plate interceptor (CPI).

3.3.4. Katalis

Sesuai dengan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia NO.19 tahun 1994 tentang Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun, bahan buangan katalis dari pabrik amoniak dan pupuk nitrogen digolongkan sebagai bahan buangan berbahaya dan beracun. Untuk itu pengolahannya harus dilakukan di unit pengolahan limbah khusus B3.

3.3.5. Flue Gas

Kadar NO_x dapat diperkecil dengan menginjeksikan steam bersamaan dengan bahan bakarnya. Cara ini sudah sering dilakukan pada operasi gas turbin. Selain itu penggunaan "low NO_x burner" akan mengurangi kadar emisi, dan alat ini sudah

lazim diterapkan di industri amoniak. Untuk pabrik yang baru dibangun, upaya pencegahan pencemaran dapat dimulai sejak dari awal proyek. Teknologi proses yang akan diterapkan pada pabrik yang akan dibangun hendaknya menggunakan teknologi proses yang berwawasan lingkungan, yaitu teknologi proses pembuatan amoniak yang tidak menghasilkan bahan pencemar yang kadarnya melebihi standar, seperti adanya unit pengolah limbah dan adanya proses pendaur ulang limbah. Dengan demikian sejak dari tahap disain dasar, faktor kesehatan serta faktor keselamatan kerja dan lingkungan telah ikut menjadi pertimbangan.

Pada perhitungan neraca bahan dan panas, pembuatan uraian proses serta penyusunan denah pabrik (plant lay-out) telah memasukkan konsep teknologi bersih. Penggunaan peralatan dengan disain yang baik disertai dengan alat pengendali pencemaran, penggunaan pencemaran, penggunaan teknologi baru pada setiap tahap proses dan kemudian optimalisasi pabrik, akan menjamin operability dan reliability serta akan dapat menurunkan konsumsi energi serta mengurangi jumlah dan konsentrasi bahan pencemar dalam buangan.

4. KESIMPULAN

Pabrik amoniak mempunyai potensi yang cukup besar sebagai sumber pencemar lingkungan mengingat penggunaan bahan-bahan kimia, temperatur dan tekanan operasi yang tinggi, bahan-bahan kimia yang mungkin terbentuk selama operasi dan limbah yang dihasilkan.

Dengan semakin tingginya perhatian dunia akan pengendalian pencemaran lingkungan oleh industri maka pada saat ini telah dikembangkan teknologi proses produksi amoniak yang berwawasan lingkungan yang disebut sebagai "Best Available Technique (BAT)". Dengan teknologi ini pabrik didisain agar dapat mengendalikan bahan-bahan pencemar yang dihasilkan kadarnya tidak melebihi standar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bhagwandeem, S., 1987, *Environmental Planning for a Fertilizer Complex*, UNEP Industry and Environment, Tobago, hal.15-18.
2. EMDI-Bapedal, 1994, *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia. Sumber, Pengendalian dan Baku Mutu*, Jakarta, hal.61-66.

3. European Fertilizer Manufacturer Association, 1995, *Production of Ammonia*, Brussel, hal.1-21.
4. Haldor Topsoe A/S, 1994, *Environmental Aspects of Ammonia Production*, Denmark.
5. Kependudukan dan Lingkungan Hidup and School of Resources & Environmental Studies Dalhousie Univ., 1989, *Indonesian Industrial Waste Standard Project*, Environmental Development in Indonesia, hal. 135-158.
6. Lie, O.H., April-June 1994, *The Effect of Environmental Legislation on Fertilizer Production and Distribution*, Agrochemicals News in Brief, volume XVII, no.2, hal.6.
7. Schuuman, H.A., April 1993, *Development of Environmental Quality Standards*, Agrochemicals News in Brief, volume XVI, no.2, hal.4.

RIWAYAT PENULIS

Djoko Wiwoho, lahir di Boyolali pada 21 Februari 1955. Menamatkan pendidikan S1 jurusan Teknik Kimia dari ITB pada 1980 dan S2 jurusan Teknik Kimia dari Queen's University, Kanada pada 1989. Saat ini bekerja di Direktorat Teknologi Proses dan Rekayasa – BPPT.

LAMPIRAN

Tabel 1. Standar Emisi Beberapa Negara (Schuuman, 1993)

Polutan	Negara	Sumber (Jenis Industri)	Konsentrasi (mg/m ³)	Load (kg/ton) (100% produk)
NO ₂	India	NA, A		5 kg/t HNO ₃
	Jerman		350	
	Thailand		2000	
		NA	1000	
	Amerika	P	400	
		NA		1,5 kg/t HNO ₃
	Pakistan	NA	4000 - 3000	
SO ₂		Lain-lain	1000 - 400	
	India	SA, A, P		4 kg/t H ₂ SO ₄
	Thailand		1000	
	World Bank		200	2 kg/t H ₂ SO ₄
	Amerika			2 kg/t H ₂ SO ₄
	Pakistan	SA	8000 - 6000	
		Lain-lain	500 - 400	
SPM	India	PA, PR, P	50 (setelah 1982)	
			200 - 100 (sebelum 1982)	
	Jerman		50 - 75	
	Thailand		300 - 500	
	Pakistan		600 - 300	
	Fluorides	PA, P, TSP	25	
	Jerman		5 (sbg HF)	
Fluorides	Thailand			0,14 kg/t P ₂ O ₅
		Semua jenis	10 (sbg HF)	
	World Bank		20	0,16 kg/t P ₂ O ₅
		PA		0,01 kg/t P ₂ O ₅
		TSP		0,10 kg/t P ₂ O ₅
	Amerika	SSP		0,05 kg/t P ₂ O ₅
		DAP		0,03 kg/t P ₂ O ₅
	Jepang	PA	1	
	Pakistan		200 - 150 (HF)	
	Asap Asam	Semua jenis	50	
Asap Asam	India			
	Thailand	PA	3	
		SA	35	
		NA	70	
	Amerika	SA		0,075 kg/t HNO ₃
	Jerman	Segala jenis	30 (HCl)	
	Thailand	Segala Jenis	20	
Chlorides			200 (HCl)	
	Jepang	Segala jenis	80 (HCl)	
	Pakistan		500 - 400 (HCl)	
	H ₂ S	SA	75	
	Filipina		15	
	Pakistan		10 - 10	